

Atti e Memorie della Commissione Grotte "E. Boegan"	Vol. 40 (2004)	pp. 125-131	Trieste 2005
---	----------------	-------------	--------------

ANDREA BUSSANI (*)

INFLUENZA DELLE MAREE ATMOSFERICHE SULLE MISURE DI TEMPERATURA REGISTRATE NELLA GROTTA "C. DORIA" (N. 3875 V.G.)

RIASSUNTO

Vengono presentati i risultati delle analisi delle misure di temperatura dell'aria effettuate mediante un termometro autoregistrante nella grotta "C. Doria" nel periodo 4 settembre – 9 ottobre 2001. Nel segnale di temperatura è stata osservata la presenza di una componente armonica avente periodo semidiurno e ampiezza pari a circa 0.003 °C, probabilmente indotta dalle maree atmosferiche termiche. Il confronto con i dati climatologici della pressione atmosferica ha inoltre evidenziato che la fase di tale componente presenta un anticipo di 2.61 ore rispetto alla corrispondente componente della pressione atmosferica.

ABSTRACT

Air temperature data, collected in the "C. Doria" cave between September 4th and October 9th 2001 by means of a self-recording thermometer, were analysed. A semidiurnal harmonic constituent, whose amplitude was about 0.003 °C, was detected in the temperature signal, probably due to thermal atmospheric tides. Moreover, a 2.61 hours phase-lag between the semidiurnal constituents of temperature (measured values) and atmospheric pressure (climatological values) was also observed.

OBNOVA

Predstavlja se rezultate analiz meritev temperature zraka, opravljenih s samomeritvenim termometrom v jami "C. Doria" med 4. septembrom in 9. oktobrom 2001. V temperaturnem signalu se opazi prisotnost harmonične komponente, ki ima poldnevno periodo in amplitudo približno 0.003°C, povzročeno verjetno zaradi termične atmosferske bibavice. Primerjava s podnebnimi podatki atmosferskega pritiska podčrta, da faza temperaturne komponente predstavlja 2.61 ur predčasnosti v primeru s komponento atmosferskega pritiska.

Introduzione

Le maree oceaniche sono un fenomeno noto da millenni (CARTWRIGHT, 1999) e facilmente osservabile anche da un osservatore non esperto. Esse sono causate dalla variazione delle forze gravitazionali sulle masse d'acque oceaniche conseguente al cambiamento della posizione del Sole e della Luna rispetto a dei punti fissi sulla superficie terrestre. Inoltre, nonostante la massa

(*) Hydroses S.a.s., Via Guerrazzi 2, 34131 Trieste, andrea.bussani@tin.it

del Sole sia circa 27 milioni di volte superiore a quella della Luna, l'influenza della Luna sulle maree oceaniche è più che doppia rispetto a quella esercitata dal Sole, a causa della maggiore distanza di quest'ultimo dalla Terra (KNAUSS, 1996).

Le maree atmosferiche, invece, sono un fenomeno molto meno evidente nell'esperienza quotidiana, sebbene possano essere rilevate attraverso un'attenta analisi delle variazioni di pressione atmosferica registrate nell'arco di una giornata da un comune barometro. Esse sono oscillazioni dell'atmosfera indotte dall'attrazione luni-solare (maree atmosferiche gravitazionali, *gravitational tides*), come visto precedentemente nel caso delle maree oceaniche, oppure dal riscaldamento solare (maree atmosferiche termiche, *thermal tides*) (CHAPMAN e LINDZEN, 1970). Queste ultime forniscono il contributo più importante alle modeste variazioni periodiche giornaliere della pressione atmosferica sulla superficie terrestre e, conseguentemente, sono individuabili più facilmente nelle osservazioni. Essendo generate dal riscaldamento solare, sono caratterizzate da un periodo di 24 ore o da sottomultipli di esso. La componente semidiurna (T=12 ore) è quella che presenta la massima ampiezza: STRAVISI (1994), in uno studio nel quale sono state analizzate le misure di pressione atmosferica registrate a Trieste nel trentennio 1961-1990, ha calcolato un'ampiezza di 44.9 Pa per la componente semidiurna, di 15.5 Pa per quella diurna e di 4.8 Pa per quella ter-diurna (T=8 ore), mentre le armoniche successive presentavano ampiezze sensibilmente inferiori.

Anche altri studi hanno indagato le fluttuazioni periodiche della pressione atmosferica nella zona di Trieste: CRISCIANI *et al.* (1988), ad esempio, hanno studiato le oscillazioni del livello marino in funzione delle variazioni della pressione atmosferica, nei cui spettri è stata evidenziata la presenza delle maree atmosferiche termiche, nonché di altre componenti aventi periodo superiore alle 24 ore.

In questo lavoro viene analizzata l'influenza delle maree atmosferiche termiche sulle misure di temperatura dell'aria effettuate nella grotta del Carso triestino "C. Doria" (n. 3875 V.G.) dal 4 settembre al 9 ottobre 2001. Tale grotta è stata scelta in quanto già oggetto di numerose ed accurate indagini di meteorologia ipogea (POLL, 1969, 1983), che hanno permesso di conoscere a priori le principali caratteristiche meteorologiche della cavità, e per il fatto che, essendo gestita dalla Commissione Grotte E. Boegan, l'accesso alla stessa è limitato e controllato.

Materiali e metodi

Le misure di temperatura sono state effettuate dalle ore 15:00 del 4 settembre alle ore 19:00 del 9 ottobre 2001, ad intervalli di tempo di 10 minuti, mediante un termometro marino autoregistrante Driesen und Kern, modello Handylog DK500, di recente produzione. Le caratteristiche tecniche dello strumento sono riportate nella tab. 1.

<i>Dimensioni</i>	Ø = 20 mm - L = 147 mm
<i>Memoria</i>	64000 misure
<i>Intervallo di funzionamento</i>	-20 ... +80 °C
<i>Risoluzione</i>	0.003 °C
<i>Accuratezza</i>	± 0.2 °C

Tab. 1 – Caratteristiche tecniche dello strumento

Il termometro è stato programmato alcune ore prima di raggiungere la cavità, per mezzo di un PC collegato mediante un'apposita interfaccia a infrarossi. È stato quindi collocato nella grotta "C. Doria" (n. 3875 V.G.), situata nel Carso triestino (lat. 45° 43' 20" N; long. 13° 46'

20'' E) a 275 m sul livello del mare (POLLI, 1969). La posizione dello strumento all'interno della grotta era, secondo la definizione dei punti data da POLLI (1969), la P6 (Fig. 1).

I dati raccolti sono stati quindi puliti eliminando le misure iniziali e finali, influenzate dalla presenza del personale tecnico.

Non sono disponibili informazioni sull'eventuale ingresso di persone durante il periodo di registrazione. L'accesso della cavità è comunque protetto da una botola chiusa da un lucchetto.

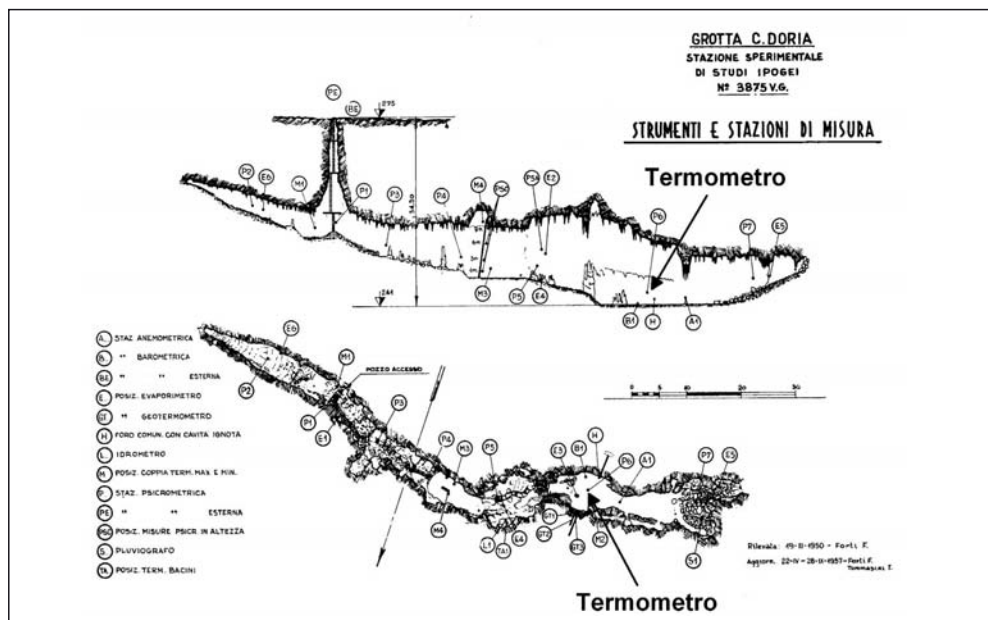


Fig. 1 – Rilievo della grotta “C. Doria” e posizione dello strumento (figura adattata da POLLI, 1969)

Risultati e discussione

Per l'analisi dei dati sono state considerate le misure di temperatura raccolte dalle ore 00:00 del 5 settembre alle ore 24:00 dell'8 ottobre 2001. Nella tab. 2 sono riportate le principali statistiche dei valori puntuali e delle medie orarie, mentre nella fig. 2 sono rappresentati graficamente i valori medi orari.

	Valori puntuali ($\Delta t = 10$ minuti)	Valori medi orari
Media ($^{\circ}\text{C}$)	11.61	11.60
Deviazione standard ($^{\circ}\text{C}$)	0.02	0.02
Minimo ($^{\circ}\text{C}$)	11.58	11.58
Massimo ($^{\circ}\text{C}$)	11.67	11.66

Tab. 2 – Principali statistiche dei valori puntuali e delle medie orarie della temperatura

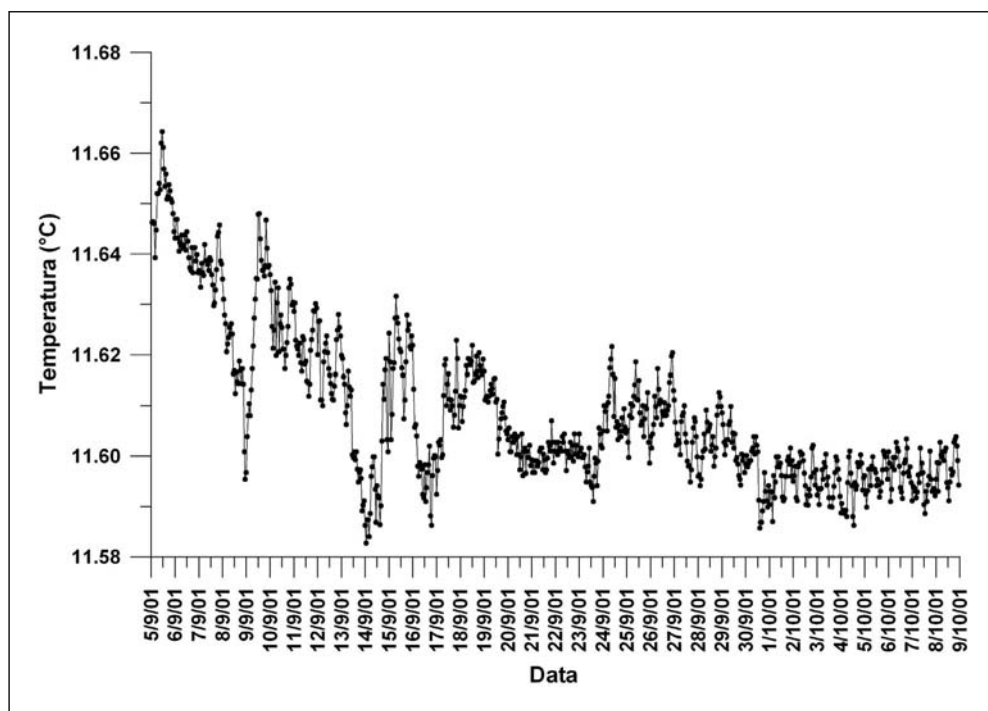


Fig. 2 – Valori medi orari della temperatura dell’aria nella grotta “C. Doria”

È chiaramente visibile l’estrema stabilità della temperatura nella cavità, con un campo di variazione delle misure pari a solamente 0.09 °C. Tale caratteristica è particolarmente evidente negli ultimi giorni di osservazione, ossia dall’1 all’8 ottobre 2001.

Al fine di estrarre le principali armoniche costituenti il segnale di temperatura e verificare così la presenza di eventuali periodicità, è stato calcolato il periodogramma dei residui ottenuti dalla differenza tra le misure originali e un fit polinomiale di quarto grado, approssimante il trend delle misure (fig. 3). È ben evidente, con un’ampiezza pari a circa 0.003 °C, il picco relativo all’armonica di periodo 12 ore ($n=68$). Non è invece presente alcun picco significativo in corrispondenza dell’armonica di periodo diurno ($n=34$) e ter-diurno ($n=102$), mentre si nota, sebbene con un’ampiezza molto inferiore alla costituente semidiurna, il picco relativo all’armonica di periodo 6 ore ($n=136$). Il fatto che non si osservino picchi significativi in corrispondenza delle armoniche con periodi di 24 e 8 ore, suggerisce che la componente diurna della variazione della pressione atmosferica non influisce sulla variazione della temperatura della cavità, diversamente da quanto ipotizzabile per la componente semidiurna. L’armonica di periodo 6 ore, infine, è una probabile conseguenza della distorsione della componente semidiurna.

Per determinare la fase della costituente semidiurna della temperatura e confrontarla con quella della pressione calcolata da STRAVISI (1994), sono stati considerati i giorni dall’1 all’8 ottobre 2001, caratterizzati da una maggior stabilità delle misure. A tali valori sono state sottratte le rispettive medie giornaliere, così da eliminare eventuali variazioni indotte dal trend della temperatura. Quindi, su di essi sono state calcolate le medie mobili con periodo

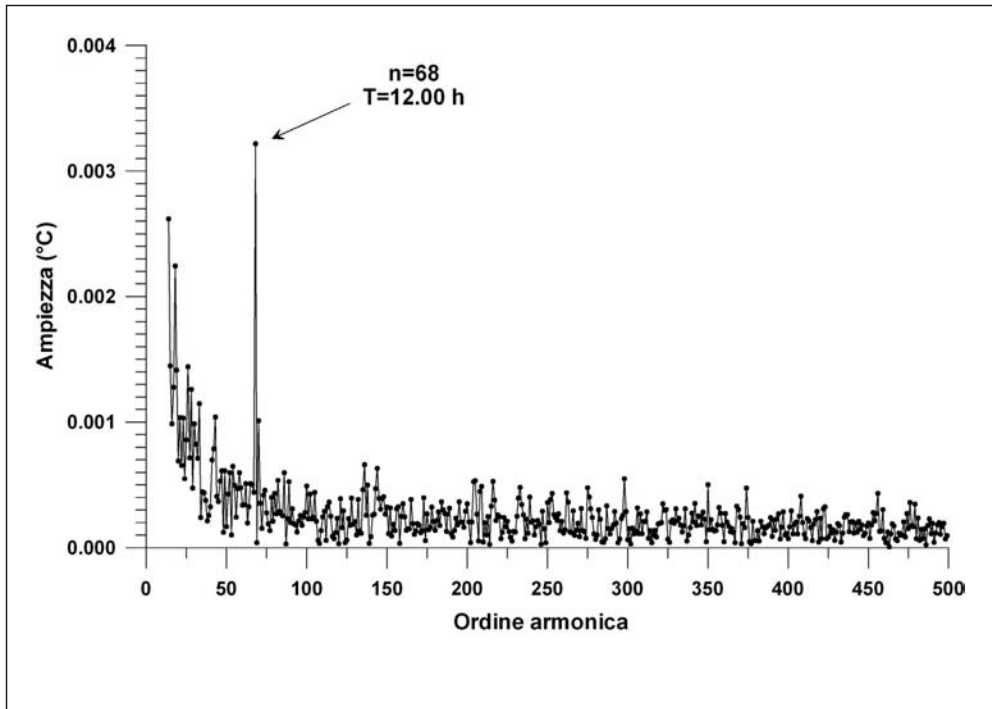


Fig. 3 – Periodogramma dei residui della temperatura (numero totale dei punti = 4896). Non sono state riportate le componenti di ordine minore o uguale a 15

6 ore. Infine, le medie così ottenute sono state interpolate con il metodo dei minimi quadrati mediante il seguente best fit trigonometrico:

$$T = T_0 + T_1 \cdot \cos\left[\frac{2\pi}{12 \text{ ore}} (t - T_2)\right]$$

dove T è la temperatura, T_0 il valore medio del segnale semidiurno (relativamente ai residui sopra definiti), T_1 l'ampiezza di tale segnale, T_2 la sua fase e t il tempo (fig. 4). I risultati del best fit, riportati nella tab. 3, dimostrano che la fase della componente semidiurna del segnale di temperatura differisce sensibilmente da quella ricavata da STRAVISI (1994) per la corrispondente componente relativa alla pressione atmosferica, pari a 10.48 ore.

T_0	$6.36 \cdot 10^{-6} \text{ °C}$
T_1	0.0022 °C
T_2	7.87 ore
R^2	0.67

Tab. 3 – Valori dei parametri e del coefficiente di determinazione del best fit trigonometrico

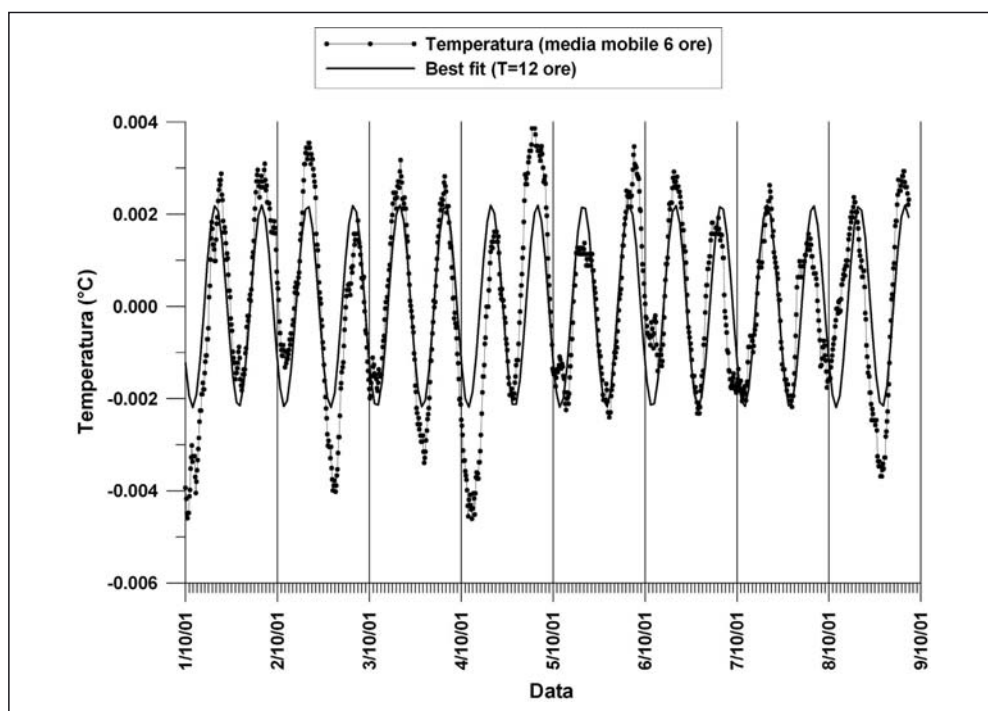


Fig. 4 – Media mobile (6 ore) dei valori di temperatura e best fit trigonometrico con periodo $T=12$ ore

Pertanto, l'ipotesi che l'andamento periodico della temperatura nella cavità sia dovuto principalmente all'alternarsi delle compressioni ed espansioni dell'atmosfera della grotta, considerate in prima approssimazione come adiabatiche e causate dalle variazioni semidiurne della pressione indotte dalle maree atmosferiche termiche, contrasta con la notevole differenza di fase dei due segnali, anche in considerazione del fatto che il segnale della temperatura è in anticipo rispetto a quello della pressione.

Tale discrepanza potrebbe derivare da un errore di programmazione del termometro o dagli errori sperimentali, dovuti alla limitata quantità di punti disponibili per il best fit e al fatto che l'ampiezza del segnale era al limite della soglia di rilevabilità dello strumento. La prima ipotesi, però, è piuttosto improbabile: infatti, la programmazione dello strumento è una procedura ormai consueta, effettuata seguendo un protocollo standard che prevede una serie di controlli sull'ora di programmazione e di inizio registrazione nonché sugli altri parametri che vengono impostati nella memoria del termometro. Per quanto riguarda il numero relativamente esiguo di punti disponibili per il best fit, invece, è stata effettuata una seconda elaborazione utilizzando tutte le misure a disposizione, e il valore della fase della componente semidiurna della temperatura della cavità è stato sostanzialmente confermato. L'ampiezza estremamente modesta del segnale, comunque, consente di supporre che la stima della fase della componente semidiurna sia condizionata da incertezze sperimentali non trascurabili.

Conclusioni

In questo lavoro sono state analizzate le misure di temperatura registrate presso la grotta "C. Doria" nel periodo 4 settembre – 9 ottobre 2001. Nel segnale di temperatura è stata osservata una periodicità semidiurna avente un'ampiezza di circa 0.003 °C e la cui fase è risultata essere significativamente in anticipo (2.61 ore) rispetto ai valori climatologici del segnale di pressione. La discrepanza tra i valori delle fasi dei due segnali indica la necessità di incrementare il numero di osservazioni, al fine di migliorare l'affidabilità delle stime dei parametri. Per meglio comprendere le relazioni intercorrenti tra i due parametri sarà inoltre necessario integrare i risultati della presente indagine con l'analisi dei parametri meteorologici registrati in superficie nel medesimo periodo.

La cavità ipogea scelta, comunque, è risultata essere un ottimo ambiente di studio, in quanto i forzanti meteorologici sono stati drasticamente smorzati, consentendo una maggiore stabilità dei parametri studiati. L'osservazione di variazioni periodiche estremamente modeste nel segnale della temperatura è stata inoltre possibile grazie all'elevata risoluzione dello strumento impiegato.

Ulteriori indicazioni sulla dinamica dei processi fisici che controllano il fenomeno descritto sono infine attese dall'analisi delle misure di temperatura dell'aria e pressione atmosferica che sono state condotte nella medesima cavità con un altro strumento in un periodo immediatamente successivo a quello considerato in questo lavoro.

Ringraziamenti

L'autore ringrazia la Commissione Grotte E. Boegan per aver permesso l'utilizzo della grotta "C. Doria" per la raccolta dei dati. Inoltre ringrazia il sig. Pino Guidi per la grande disponibilità, la costante assistenza tecnica durante tutte le fasi dello studio e per aver fornito copia della bibliografia relativa alla grotta "C. Doria".

BIBLIOGRAFIA

- CARTWRIGHT D. E., 1999 – "*Tides - A scientific history*". Cambridge University Press, Cambridge, 292 pp.
- CHAPMAN S., LINDZEN R., 1970 – "*Atmospheric tides - thermal and gravitational*". D. Reidel, Dordrecht, 200 pp.
- CRISCIANI F., FERRARO S., MOSETTI F., 1988 – "*Sea level oscillations in the Gulf of Trieste, the role of the atmospheric-pressure forcing and the tidal effect in the pressure and wind behaviour*". Il Nuovo Cimento C, 11, 85-103.
- KNAUSS J. A., 1996: "*Introduction to physical oceanography*". Prentice Hall, Upper Saddle River, 310 pp.
- POLLI S., 1969: "*Meteorologia ipogea nella grotta "C. Doria" del Carso di Trieste – Quinquennio 1963-1967*". Atti e Memorie, IX, 87-98.
- POLLI S., 1983 – "*Stazione di meteorologia ipogea nella grotta "C. Doria" (N. 3875 VG)*". Atti e Memorie, 22, 269-273.
- STRAVISI F., 1994 – "*Trieste 1961-1990 – Pressione atmosferica: dati mensili e statistiche*". Università di Trieste, Istituto di Geodesia e Geofisica, Sezione di Oceanografia e Meteorologia. Rapporto interno n. 94/1.

